

DESARROLLO E IMPLANTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LOS MOTORES DIESEL DE LOS VEHÍCULOS S/592

Eugenio Antonio Anubla Lucia, David Domínguez Menchero y Marcelo Pérez Alonso

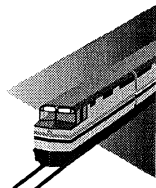
Dirección de Ingeniería y Procesos de la UN. de Mantenimiento Integral de Trenes - RENFE

Vicente Macián Martínez

Centro de Mantenimiento del Transporte

Antonio Lara Espino

Centro de Investigación y Desarrollo en Automoción



RESUMEN

El proyecto que a continuación exponemos, constituye una experiencia piloto de estudio, desarrollo e implantación de Mantenimiento Predictivo en los nuevos motores diesel, marca MAN, modelo 2866-LUE-601 que se han instalado en los automotores de la serie 592 en sustitución de los antiguos de la misma marca; específicamente sobre el parque con que cuenta RENFE en Valencia - Fuente San Luis, constituido por 25 vehículos, con un total de 100 motores de tracción.

Se han elegido como colaboradores a CMT (Centro de Mantenimiento del Transportes) dependiente de la Universidad Politécnica de Valencia, y CIDAUT (Centro de Investigación y Desarrollo en Automoción) Centro tecnológico de Castilla y León, por tener ambos una importante experiencia en proyectos de I+D dentro del sector del transporte, tanto en los aspectos relacionados con el diseño de elementos de motores de combustión interna, como en el desarrollo de modernas técnicas de mantenimiento de los mismos.

A partir de este proyecto se pretende incorporar el Mantenimiento Predictivo a toda la gama de motores diesel de los vehículos de RENFE, en un tiempo mínimo y con las máximas garantías en sus resultados.

1. INTRODUCCIÓN:

Con la adopción del sistema de Mantenimiento Predictivo, la Unidad de Negocio de RENFE de «Mantenimiento Integral de Trenes» intenta ofrecer un nivel más en el mantenimiento, que podríamos denominar de 3ª generación. De esta forma se persigue, por una parte, una progresión tecnológica con la incorporación como Know-How propio de las técnicas más novedosas, aplicadas al mantenimiento de vehículos ferroviarios; y por otra, poder ofrecer a los operadores (propietarios de dichos vehículos) una mejora en el rendimiento de éstos, debido a la reducción de los costes de explotación (menor consumo energético - ahorro de combustible, mayor fiabilidad y mejor mantenibilidad) así como optimizar la gestión operativa de sus flotas al disponer del vehículo en servicio durante más tiempo. Todo lo cual redundará en una mayor calidad de servicio hacia los clientes del ferrocarril.

Es de reseñar que junto al desarrollo de técnicas de Mantenimiento Predictivo, la gran aportación del proyecto es su implantación en el seno del mantenimiento tradicional sistemático y correctivo que se viene aplicando, reestructurando el mismo. Con este objetivo, ha sido necesario establecer e implantar un nuevo proceso de trabajo dentro del taller, que entre otras actuaciones, determinó la necesidad de construir un Centro de Diagnóstico de Automotores. De esta manera, se pasa a realizar el mantenimiento por equipos embarcados en el tren, según su estado. Esto obliga a definir de nuevo el papel y la envergadura de las grandes reparaciones realizadas en los Talleres Centrales.

En esta línea de actuaciones de establecimiento de mantenimiento predictivo dentro de la UN. de Mantenimiento Integral de Trenes, se han iniciado otros proyectos, así existe uno para el «Diagnóstico y Análisis de Aceite» en todas las locomotoras diesel en colaboración con Repsol y otros dos para el material motor eléctrico; el primero basado en un sistema de diagnóstico de estado en las locomotoras eléctricas S/252 a partir de análisis de vibraciones, de corrientes, test dieléctricos, etc., y el segundo, mediante un sistema de Mantenimiento Predictivo en motores eléctricos de los ET/448, fundamentado en sus niveles de chispeo y monitorización de la temperatura.



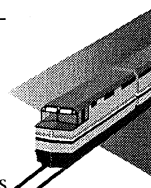
2. DESARROLLO DEL PROYECTO:

Comenzó en Julio de 1.996 estableciéndose para su desarrollo cuatro fases sucesivas y diferenciadas, cada una de las cuales en principio duraría un semestre:

1. Lanzamiento del Proyecto, estudio de la situación del mantenimiento dentro del taller y recogida de documentación existente.
2. Selección de las variables a controlar, pruebas de diagnóstico a realizar y generación del Sistema Experto de Diagnóstico.
3. Implantación de las técnicas en el proceso de mantenimiento del taller
4. Análisis y validación del sistema así como la estimación de los logros alcanzados.

2.1. PRIMERA FASE

En ella los miembros del equipo de CMT-CIDAUT tomaron contacto con el material, los procedimientos de trabajo (operaciones de mantenimiento a que se somete el vehículo) y el personal de RENFE en el taller de Material Autopropulsado de Valencia Fuente San Luis. Además se precisaron las actuaciones programadas por realizar y se delimitaron las funciones de los distintos participantes en el proyecto.



Una de las primeras medidas acordadas fue realizar, con los equipos de diagnosis de CMT, un chequeo inicial de los motores MAN de toda la serie 592 (parque de Valencia, Vigo y Sevilla); de forma que se pudiese establecer una referencia del estado y así poder cuantificar al final del proyecto los resultados obtenidos

- Potencias bajas en un 15% de los motores, menor de 190kW (En Valencia)
 - Problemas de obstrucciones en intercooler
 - Compresión relativa baja <90% uno o más cilindros en 12 motores
 - Obstrucciones y roces en el mando de aceleración que impiden la plena potencia en 2
 - Así como se detectaron algunos problemas varios como: correas flojas, fisuras en el colector de escape y fugas de gas-oil en diversos motores.
-

2.2. SEGUNDA FASE

Comenzó con la elección de las variables de diagnóstico a emplear, así como, de las pruebas más idóneas para captar los valores de dichas variables. Seleccionándose las mismas, sobre la base de los siguientes criterios:

- Empleo de sistemas no intrusivos
- Binomio fiabilidad de la prueba-información adquirida
- Porcentaje de discriminación del fallo
- Facilidad de adquisición-accesibilidad en el vehículo
- Coste y sofisticación de los equipos
- Captura automática de las lecturas de las pruebas

Con estas premisas se comenzaron a realizar pruebas en los motores de Valencia Fuente San Luis, coincidentes con la entrada de los vehículos en el taller para su mantenimiento sistemático. También se efectuaron pruebas de captación de medidas a bordo del vehículo funcionando en vía, tales como, presurización del circuito de refrigeración, revoluciones de los motores, temperaturas de funcionamiento, presión de sobrealimentación, etc. Con el fin de comprobar la posibilidad de su monitorización a bordo y la consistencia o variación de los resultados obtenidos en las pruebas estáticas efectuadas en el taller.

Con la experiencia adquirida se estableció que, por el momento, era más idóneo realizar solamente un monitorizado y diagnóstico externo al vehículo, pero eso sí, realizando la captación de datos de la manera más automatizada posible. Las pruebas a realizar en dicho diagnóstico serían:

- Potencia del motor por aceleración libre
- Compresión relativa de los cilindros (figura 1)
- Análisis de opacidad de los humos de escape
- Punto y presiones de inyección (figura 2)
- Caudales y temperaturas de refrigeración



- Análisis rápidos del estado del aceite
- Medida del estado de las baterías por la impedancia
- Presión de sobrealimentación

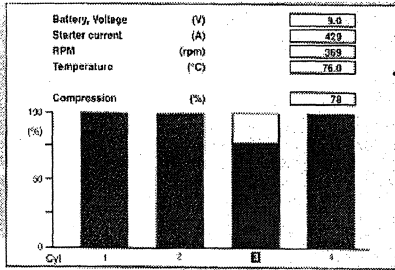


Figura 1

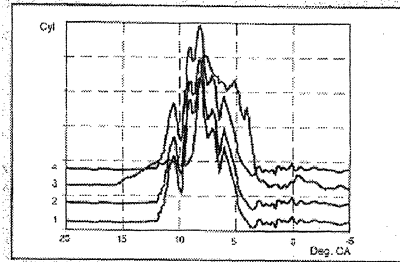
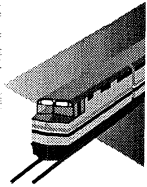


Figura2



A la vez que se realizaban dichas pruebas sobre los motores embarcados, también se investigaba en desarrollar nuevas pruebas de diagnosis. Así CIDAUT está desarrollando un sistema de análisis del estado del motor mediante la medida de la irregularidad de rotación del mismo:

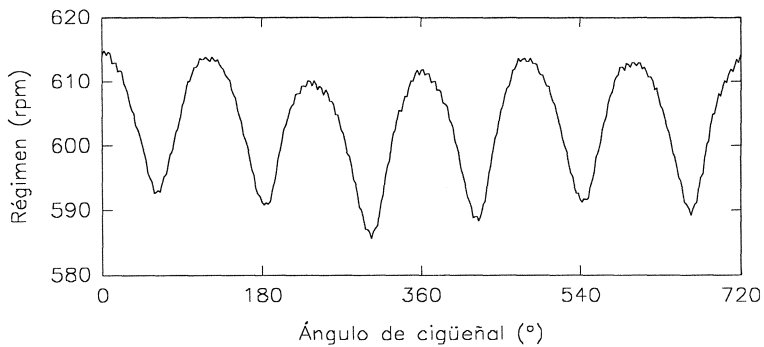


Figura 3

Esta medida, como se puede ver en la figura, identifica perfectamente la combustión de los seis cilindros, donde las desaceleraciones corresponden a las compresiones y las aceleraciones a las combustiones. En el caso que se muestra la combustión anterior a 360° es algo mayor que las otras, posiblemente porque se inyecta mas combustible.

Se ha comprobado que esta prueba es fácil de implantar, estando en estos momentos analizando sus resultados y la rango de discriminación del fallo que posee.

En esta misma línea se ha estudiado la diagnosis mediante la medida de las vibraciones de reacción en el bloque motor, por parte de D. Barilá en el CMT, que ha aportado resultados pero que en estos momentos todavía resulta difícil de incluir dentro del proceso de trabajo del Centro de diagnóstico de Automotores.

CIDAUT a su vez también a procedido a modelar informáticamente el funcionamiento de la bomba de inyección del motor, de forma que se pueda establecer una relación más clara y precisa sintoma-fallo dentro del sistema de inyección.

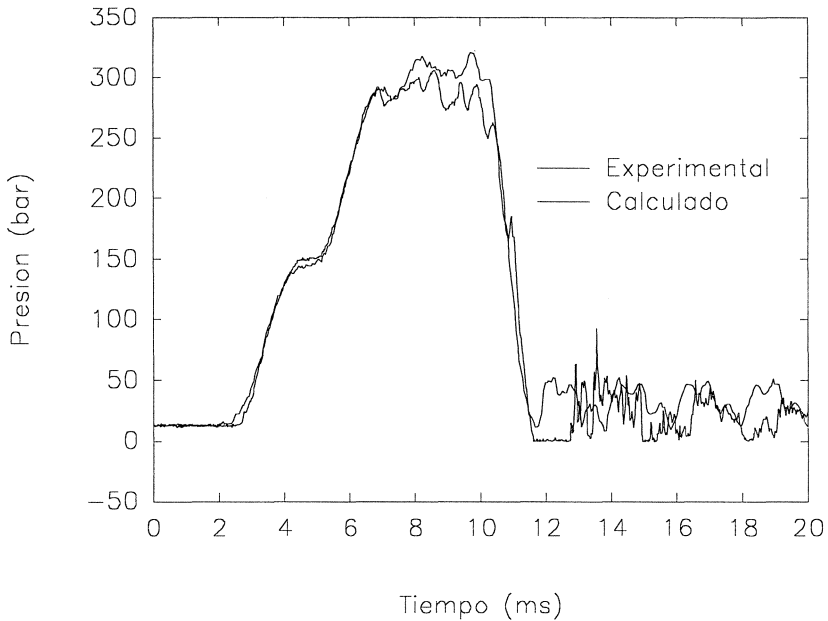


Figura 4

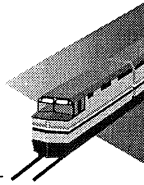


2.2.1. EQUIPOS:

Una vez determinadas las pruebas a incluir en el proceso de diagnóstico, quedaron a su vez determinadas los equipos e instalaciones a adquirir para hacerlas posibles.

Equipo de diagnóstico: Realiza la diagnosis de motores mediante técnicas no intrusivas. El equipo permite efectuar las pruebas siguientes:

- Análisis de regímenes: máximo, mínimo, ralentí y su variación.
- Análisis Compresión relativa.
- Cálculo de la Potencia por aceleración libre.
- Estudio del Ángulo de avance de inyección.
- Análisis de las Curvas de presión de inyección relativa.
- Funcionamiento del motor de arranque: Intensidad y revoluciones de arranque.



Análisis rápidos de aceite:

- Equipo para medir la constante dieléctrica del aceite.
- Equipo para observar la viscosidad del aceite a una determinada temperatura, la crepitación y análisis de la mancha de aceite

Medidor de opacidad

La medida de opacidad refleja la relación combustible/aire quemada en el motor y de la calidad de la combustión.

Medidor de impedancia de baterías

Medidor de caudales de líquidos por tuberías mediante infrarrojos

Endoscopio

Manómetro medidor de la presión de sobrealimentación

Comprobador de estanqueidad en cilindros



Otros: -Comprobador de anticongelante, Termómetro de infrarrojos y/con sonda de contacto, Sistema de presurización del equipo de refrigeración, etc..

Al analizar la forma más viable de introducir estas operaciones en el proceso de mantenimiento del taller, se hizo evidente, la necesidad de tener un recinto específico donde realizar las pruebas de diagnóstico, denominándolo «Centro de Diagnóstico de Automotores» (a partir de ahora CDA), entre otras razones porque:

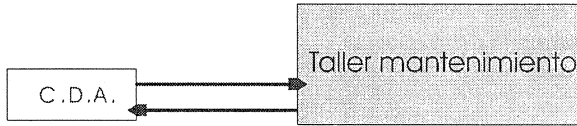


Figura 5

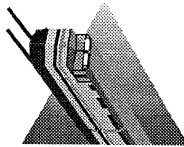
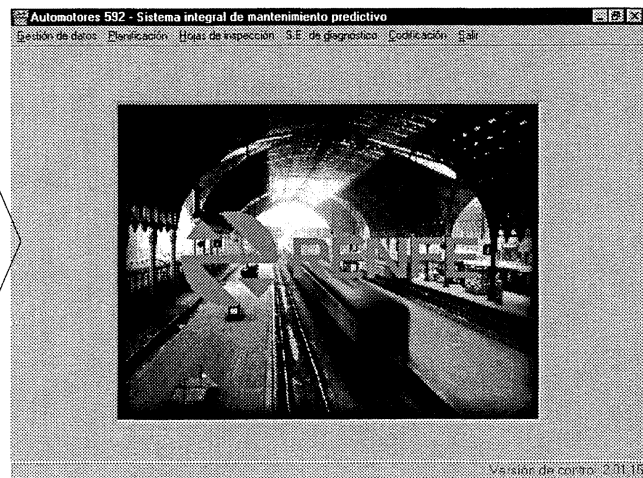
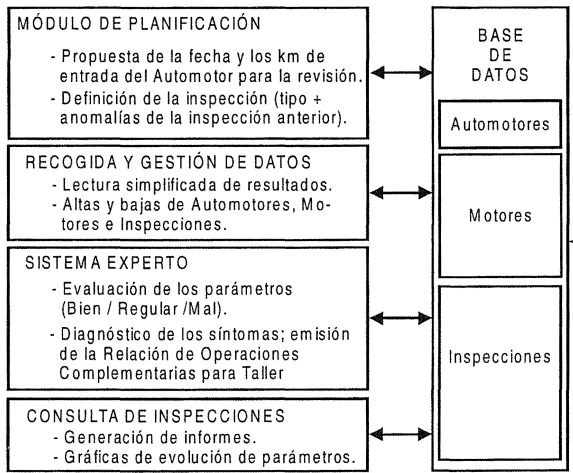
1. Independencia del diagnóstico respecto a las actuaciones del taller
2. Se evitan interferencias con el mismo.
3. Existe gran emisión de ruido y humos al acelerar el motor al máximo.

2.2.2. APLICACIÓN INFORMÁTICA:

Para la adquisición, posterior estudio y análisis de tendencias (base del mantenimiento predictivo) de los datos obtenidos en las pruebas de diagnóstico es imprescindible un tratamiento informático de los mismos; por ello desde el primer momento se contempló la necesidad de realizar una aplicación informática que:

- 1º Sirviese de formación y consulta de la base de datos de los ensayos de los motores
- 2º Estudiase las tendencias de las variables de los ensayos, establecimiento valores de alerta y alarma.
- 3º Fuese una herramienta de planificación y control de las entrada de los vehículos en el CDA y del rango de las operaciones a efectuar.





2.2.1. SISTEMA EXPERTO

Por último y como función más importante, se dotó a la aplicación de un «Sistema Experto» de diagnóstico del motor que estableciese las posibles causas de avería ante los síntomas inspeccionados en las pruebas de diagnóstico recomendando las actuaciones correctoras a realizar. De esta manera el taller se centra en las reparaciones y se libera del trabajo de inspección y de gran parte del trabajo de interpretación.

Para su elaboración el primer paso ha sido adquirir los conocimientos más amplios posibles sobre el vehículo, el motor y su funcionamiento, y transformar dicho conocimiento en «reglas» que puedan ser tratadas de manera informática, además, son necesarias una «Base de hechos» (datos) y el «Motor de inferencia» (unidad lógica). Para este proceso la codificación es un paso imprescindible, por eso se ha efectuado una codificación lógica de las piezas, de los parámetros inspeccionados, de los límites aceptados para cada parámetro, de las acciones de taller, e incluso de las reglas, con sus anomalías y recomendaciones asociadas. A continuación se recoge una de las reglas:

ENUNCIADO DE REGLA	CÓD DE ANOMALÍA	TEXTO DE ANOMALÍA	CÓD DE RECOMEND.	TEXTO DE RECOMENDACIÓN
si ((21000OP.valor>opL4) Y (26410PM.valor>pmfL4))	A1 26410	Opacidad alta. Filtro de aire de admisión obstruido.	R1-26410H	Filtro de aire. Limpiar.

Como puede apreciarse, el enunciado de la regla es una expresión matemática que constituye una condición lógica. De aquí surge la necesidad previa de la codificación citada anteriormente. Esta expresión es evaluada internamente por el motor de inferencia y si se cumple la condición, se lanza el consecuente que emite un mensaje con la anomalía y la recomendación correspondiente.

2.3. TERCERA FASE

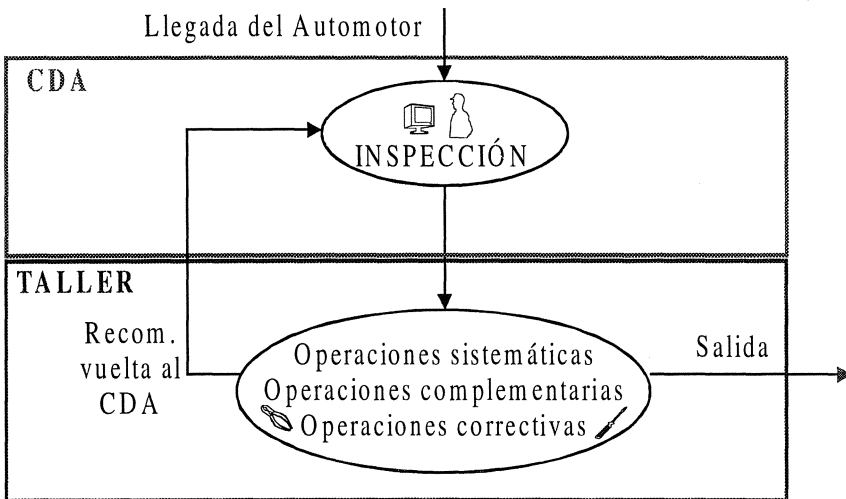
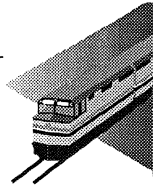
Finalizadas las dos primeras etapas, las cuales habían supuesto un año de arduo trabajo en el desarrollo e investigación de las pruebas a aplicar, comenzando en la tercera fase la parte más complicada y compleja de implantación de dichas técnicas en el mantenimiento de los vehículos.

Para ello primeramente, partiendo del estudio realizado en la primera fase sobre el tipo y ciclo de mantenimiento que se está efectuando en la actualidad se ha reestructurado la sistemática del proceso de mantenimiento de los vehículos, pasando a uno nuevo donde se combinan el ejercido hasta ahora sistemático + correctivo con el predictivo, de forma que se eliminan algunas revisiones y operaciones realizadas sistemáticamente, siendo sustituidas por otras de diagnosis que se realizarán en el CDA.



El nuevo proceso será:

- 1°. Al llegar el vehículo a las instalaciones de Fuente San Luis y antes de entrar al Taller deberá pasar por el CDA para que se le efectúe la inspección correspondiente.
- 2°. Durante la inspección en el CDA se observarán una serie de síntomas y se emitirá la Relación de Operaciones Complementarias de CDA para el Taller.
- 3°. El vehículo entrará al Taller, donde se le efectuarán las acciones indicadas por el CDA en la Relación de Operaciones Complementarias y las operaciones sistemáticas del motor y de los demás elementos del automotor de la revisión en curso que se encuentran indicados en el Bono de Trabajo Programado.
- 4°. El tren volverá al CDA en el caso de que convenga comprobar el funcionamiento del motor u otro equipo tras realizar alguna operación en Taller.



Otra tarea que se consideró imprescindible realizar a continuación fue la realización de una amplia labor de formación, no sólo a los operarios que trabajen en el CDA. realizando las pruebas de diagnóstico (los cuales van ha recibir una formación continuada y exhaustiva durante todo el resto del proyecto) sino a todos los trabajadores del Taller de Material Autopropulsado, para que así conozcan y asuman el nuevo proceso de trabajo y en especial a los mandos encargados de gestionar este proceso.

En la actualidad, se esta construyendo el CDA como una nave externa al taller y previa al mismo, que se espera tener finalizada en Julio de 1.998.

2.4. CUARTA FASE

A partir de este momento en el proceso se prevé una última fase de validación, donde se procederá a corregir desviaciones e incorporar a las pruebas aspectos que no se hayan tenido en cuenta hasta ese momento, que mejoran el diagnóstico y la sistemática del funcionamiento del CDA (disfunciones en el uso de los equipos o de la aplicación informática). Así mismo durante este periodo será posible hacer una evaluación exacta del ahorro económico que se produce en el mantenimiento (reducción de operaciones correctivas) y consumo (ahorro de combustible) de los vehículos, que se reflejará en la fiabilidad y disponibilidad de los mismos.

3. FUTURAS ACTUACIONES

Como en un principio se indicó RENFE tiene la intención de profundizar en esta línea de trabajo, ampliando la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo al resto de los sistemas que componen el vehículo (sistema eléctrico, dinámica del vehículo, sistema neumático y climatización). Ya en este proyecto se ha trabajado sobre otros sistemas, así para realizar un buen mantenimiento predictivo del motor se han incorporado técnicas para ejercerlo a su vez sobre las baterías ya que su estado influye sobre el arranque del mismo y sobre las medidas que realizan los equipos.

Por último, MIT agradece el apoyo recibido del Ministerio de Industria mediante su Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía IDAE, que ha subvencionado este proyecto, al significar el funcionamiento de los motores con una perfecta puesta a punto un ahorro en el gasto de combustible estimado de 18.000.000 de ptas. anuales.

4. BIBLIOGRAFÍA

➤ Artículo:

F.V. Tinaut, A. Melgar, A.J. Horrillo, «Faults Detection in reciprocating internal combustion engine from instantaneous engine speed» International Congress on Combustion Engines 1.998

➤ Libros

Vicente Macian Martines «Mantenimiento de motores de combustión interna alternativos» UPV.1.993

